

# **Simulace pokrytí a analýza hygienických limitů kampusové 4G/5G sítě**

Simulation of Coverage and Analysis of Hygienic Limits for the Campus 4G/5G Network

**Tomáš Lassák**

Bakalářská práce

Ing. Libor Michalek, Ph.D.

Ostrava, 2021

## **Abstrakt**

Práce se zabývá zpracováním informací ohledně základních hygienických limitů, které musí každá základnová stanice mobilních sítí splňovat.

Dále se tato práce zaměřuje na skutečné naměření těchto limitů v prostorách kampusu VŠB-TU v Ostravě-Porubě, srovnání těchto naměřených hodnot s limitními hodnotami a určení, zda došlo, či nedošlo k překročení hygienických limitů.

Taktéž dojde k simulaci těchto naměřených hodnot v programu Wireless Insite a porovnání se skutečnými hodnotami. A nakonec bude provedena simulace pokrytí kampusovou 4G sítí v prostorách univerzitního kampusu opět v programu Wireless Insite.

## **Klíčová slova**

hygienické limity; BTS; 4G; EMR-30; Spectran HF-60105; elektromagnetické pole; intenzita elektrického pole; Wireless Insite

## **Abstract**

This work deals with the search for information about basic hygienic limits that each base station must follow.

Then this work focuses on the actual measurement of these values on the area of the VŠB-TU campus in Ostrava-Poruba, comparison of these values with the limit values and determining if these limits were exceeded or not.

The measured values will also be simulated in the Wireless Insite software and compared with the actual ones. And finally, the simulation of the coverage of the campus 4G network in area of the university campus will be performed again in the Wireless Insite program.

## **Key words**

hygienic limits; BTS; 4G; EMR-30; Spectran HF-60105; electromagnetic field; electric field; Wireless Insite

# Obsah

Úvod .....	- 8 -
1 Rešerše hygienických limitů základnových stanic .....	- 9 -
1.1 Zákon č.258/2000 Sb. ....	- 9 -
1.2 Nařízení vlády č. 291/2015 Sb. ....	- 9 -
1.2.1 Nejvyšší přípustné hodnoty .....	- 10 -
1.2.2 Referenční hodnoty .....	- 10 -
1.3 Metodický návod čj.: MZDR 509/2017-19/OVZ .....	- 11 -
1.3.1 Zóna pro zaměstnance - jedna anténa .....	- 12 -
1.3.2 Zóna pro fyzické osoby v komunálním prostředí - jedna anténa .....	- 13 -
1.3.3 Zóna pro zaměstnance - více antén.....	- 15 -
1.3.4 Zóna pro fyzické osoby v komunálním prostředí - více antén.....	- 15 -
1.4 Výpočet velikosti zón pro základnovou stanici kampusové sítě.....	- 15 -
2 Měření reálných hodnot v areálu univerzity .....	- 17 -
2.1 Místa pro měření.....	- 17 -
2.2 Přístroje použité pro měření .....	- 18 -
2.2.1 Wandel & Goltermann EMR-30.....	- 18 -
2.2.2 Spectran HF-60105 .....	- 19 -
2.3 Naměřené hodnoty elektrického pole v běžném provozu .....	- 20 -
2.4 Naměřené hodnoty elektrického pole pro maximální provozní zatížení .....	- 21 -
2.5 Naměřené hodnoty elektrického pole s vypnutou rádiovou jednotkou .....	- 22 -
3 Simulace v programu Wireless Insite .....	- 23 -
3.1 Základní popis programu Wireless Insite .....	- 23 -
3.2 Simulace skutečného měření hodnot a jejich porovnání .....	- 23 -
3.2.1 Postup vytváření simulace .....	- 23 -
3.2.2 Výstup simulace a porovnání těchto hodnot s naměřenými hodnotami- .....	- 26 -
3.3 Simulace pokrytí kampusovou 4G sítí .....	- 28 -
3.3.1 Vytváření simulace .....	- 28 -
3.3.2 Výstup simulace.....	- 30 -
4 Zhodnocení a porovnání naměřených hodnot s limity .....	- 32 -
Závěr.....	- 34 -
Použitá literatura.....	- 36 -

Seznam příloh.....	- 38 -
--------------------	--------

## Seznam použitých zkratek

Zkratka	Význam
<b>3D</b>	Trojrozměrný prostor
<b>Ap.</b>	A podobné
<b>BTS</b>	Base Transceiver Station, Základnová stanice
<b>Čj.</b>	Číslo jednací
<b>ČR</b>	Česká republika
<b>GHz</b>	Gigahertz
<b>GPS</b>	Global Positioning System
<b>kHz</b>	Kilohertz
<b>LC</b>	Liquid-crystal
<b>MHz</b>	Megahertz
<b>MZDR</b>	Ministerstvo zdravotnictví
<b>PC</b>	Personal Computer, Počítač
<b>Tj.</b>	To je

## Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotky	Význam symbolu
<b>B</b>	T	Magnetická indukce
<b>E</b>	V/m	Intenzita elektrického pole
<b>f</b>	Hz	Frekvence
<b>G</b>	dBi	Zisk antény
<b>P</b>	W	Výkon
<b>R</b>	m	Délka oblasti
<b>RSSI</b>	dBm	Indikátor intenzity signálu
<b>S</b>	W/m <sup>2</sup>	Hustota zářivého toku
<b>SAR</b>	W/kg	Měrný absorbovaný výkon tkáně těla
<b>úhel</b>	°	Stupně

## Úvod

V dnešní moderní době se bezdrátové sítě dostávají čím dál více do popředí a stávají se tak nedílnou součástí našeho života, ať už v prostředí našeho univerzitního kampusu, doma, či v práci. Nastávají pak otázky, zdali jsou tyto bezdrátové technologie pro náš organismus bezpečné a nemohou způsobovat některé nežádoucí účinky. A právě na tuto otázku bezpečnosti, konkrétně univerzitní kampusové 4G sítě v Ostravě-Porubě, z hlediska zdraví, se v mé bakalářské práci zaměřím.

V první části se nejprve zaměřím na rešerši a shrnutí základních hygienických limitů, které musí základnové stanice mobilních sítí splňovat, dle aktuálních zákonů a nařízení.

V druhé části naměřím, na vybraných místech kampusu VŠB-TU v Ostravě-Porubě, intenzitu elektrického pole pomocí dvou různých měřicích přístrojů. Tyto hodnoty budu měřit v běžném provozu, maximálním vytižení, a také během vypnuté rádiové jednotky na základnové stanici.

Ve třetí části budu pracovat se softwarem Wireless Insite, kde porovnáím nasimulované hodnoty z tohoto programu se skutečnými naměřenými hodnotami, a také nasimuluji intenzitu pokrytí kampusovou 4G sítí v areálu kampusu.

V závěrečné části provedu porovnání naměřených hodnot intenzity elektrického pole z druhé části s limity popsány v první části. A zhodnotím, zdali došlo k překročení těchto limitních hodnot, či nikoli. Taktéž zjistím podíl kampusové 4G sítě na této hodnotě intenzity elektrického pole.



# 1 Rešerše hygienických limitů základnových stanic

Základnové stanice mobilních sítí musí splňovat určité limity, které jsou definovány a řešeny v následujících sbírkách zákonů, které jsou v této kapitole uvedeny.

## 1.1 Zákon č.258/2000 Sb.

Zákon č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů v § 35 'Neionizující záření', říká:

*(1) Neionizujícím zářením se pro účely tohoto zákona rozumí elektrická a magnetická pole a elektromagnetické záření o frekvenci do  $1,7 \cdot 10^{15}$  Hz.*

*(2) Osoba, která používá, popřípadě provozuje stroj nebo zařízení, které je zdrojem neionizujícího záření včetně laserů (dále jen "zdroj neionizujícího záření"), je povinna*

*a) činit taková technická a organizační opatření, aby expozice fyzických osob v rozsahu upraveném prováděcím právním předpisem nepřekračovaly nejvyšší přípustné hodnoty neionizujícího záření*

*b) při zjišťování a hodnocení expozice fyzických osob a úrovně neionizujícího záření postupovat způsobem stanoveným prováděcím právním předpisem*

*c) před zahájením používání nebo provozu stacionárního zdroje neionizujícího záření sítě elektronických komunikací v obytné zástavbě vypracovat dokumentaci, ve které bude doloženo výpočtem nebo měřením dodržení nejvyšších přípustných hodnot neionizujícího záření z hlediska možné expozice fyzických osob, a předložit tuto dokumentaci příslušnému orgánu ochrany veřejného zdraví*

*d) v případech stanovených prováděcím právním předpisem označit výstrahou místa (oblasti, pásma), ve kterých expozice osob neionizujícímu záření může překročit nejvyšší přípustné hodnoty*

*(3) Pokud dojde k závadě zdroje neionizujícího záření, která by mohla vést k expozici fyzických osob překračující nejvyšší přípustné hodnoty, osoba uvedená v odstavci 2 jeho provoz neprodleně zastaví. Tím nejsou dotčeny její povinnosti podle zvláštních právních předpisů.*

*(4) Provozovatel služby, při které se používá k péči o tělo zdroj neionizujícího záření, je povinen vést evidenci, ve které uvede pro každý zdroj neionizujícího záření délku časového úseku, po který je denně v provozu; evidenci je povinen uchovávat po dobu životnosti zdroje neionizujícího záření. Po vyčerpání doby provozu zdroje neionizujícího záření, určené nebo doporučené jeho výrobcem, je osoba uvedená ve větě první povinna provoz zdroje neionizujícího záření ukončit. [1]*

Nejdůležitějším výňatkem pro tuto bakalářskou práci je druhý odstavec, písmeno c), který nám definuje to, že provozovatel musí skrze výpočty nebo měření doložit dodržování nejvyšších přípustných hodnot.

## 1.2 Nařízení vlády č. 291/2015 Sb.

Celé znění je Nařízení vlády č. 291/2015 Sb. o ochraně zdraví před neionizujícím zářením [2]. V tomto nařízení můžeme najít referenční hodnoty a nejvyšší přípustné hodnoty. U těchto hodnot budeme rozlišovat, zdali se jedná o zaměstnance nebo fyzickou osobu v komunálním prostředí.

Zaměstnancem rozumíme osobu, která vykonává činnost přímo spojenou s expozicí neionizujícím záření, případně osobu, která se vyskytuje na pracovišti a byla o této skutečnosti poučena. Fyzickou osobou v komunálním prostředí rozumíme každou další osobu, která není zaměstnancem. [3]

### 1.2.1 Nejvyšší přípustné hodnoty

Tyto hodnoty obsahuje bod č. 3 a 4 v příloze č. 1 k nařízení vlády č. 291/2015 Sb. 'Nejvyšší přípustné hodnoty a referenční hodnoty ve frekvenčním pásmu od 0 Hz do 300 GHz' [2].

Těmito hodnotami se rozumí mezní hodnoty, které vycházejí přímo z prokázaných účinků na zdraví a z údajů o jejich biologickém působení a jejichž nepřekročení zaručuje, že zaměstnanci a fyzické osoby v komunálním prostředí, exponované neionizujícímu záření, jsou chráněny proti všem jeho známým přímým biofyzikálním a nepřímým účinkům. [2]

První z hodnot je dána časově střední hodnotou měrného absorbovaného výkonu tkáně těla (SAR), v intervalu šesti minut pro frekvence od 100 kHz do 6 GHz. [2]

Druhá z hodnot je dána časově střední hodnotou hustoty zářivého toku (S), která působí na 20 cm<sup>2</sup> exponované části těla pro frekvence od 6 GHz do 300 GHz. [2]

Obě tyto hodnoty jak pro zaměstnance, tak pro fyzické osoby v komunálním prostředí jsou určeny v tabulce 1.1.

Tabulka 1.1: *Tabulka s nejvyššími přípustnými hodnotami* [2]

Frekvence (f)	Měrný absorbovaný výkon tkáně těla (SAR) [W/kg]	
	Fyzické osoby v kom. prostředí	Zaměstnanci
100 kHz - 6 GHz	0,08	0,4
Frekvence (f)	Hustota zářivého toku (S) [W/m <sup>2</sup> ]	
	Fyzické osoby v kom. prostředí	Zaměstnanci
6 GHz - 300 GHz	10	50

### 1.2.2 Referenční hodnoty

Tyto hodnoty obsahuje bod č. 5 v příloze č. 1 k nařízení vlády č. 291/2015 Sb. 'Nejvyšší přípustné hodnoty a referenční hodnoty ve frekvenčním pásmu od 0 Hz do 300 GHz' [2].

Těmito hodnotami se rozumí velikost přímo měřitelných parametrů, neionizujícího záření ve frekvenční oblasti od 0 Hz do 300 GHz, kterými jsou intenzita elektrického pole, magnetická indukce, hustota zářivého toku a kontaktní proud, které slouží k jednoduššímu prokazování nepřekročení nejvyšších přípustných hodnot. [2]

Vybrané referenční hodnoty jak pro zaměstnance, tak fyzické osoby v komunálním prostředí, jsou uvedeny v tabulce 1.2.

Tabulka 1.2: Tabulka s referenčními hodnotami [2]

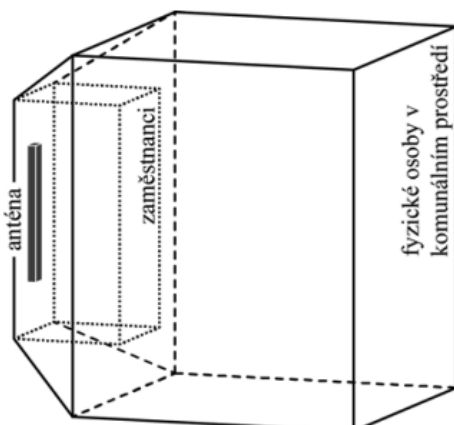
Frekvence (f)	Intenzita elektrického pole ( $E^{\text{limit}}$ ) [V/m]	
	Fyzické osoby v kom. prostředí	Zaměstnanci
10 MHz - 400 MHz	28	61
400 MHz - 2 GHz	$1,375 \cdot 10^{-3} \cdot f^{0,5}$	$0,003 \cdot f^{0,5}$
2 GHz - 300 GHz	61	137
Frekvence (f)	Hustota zářivého toku ( $S^{\text{limit}}$ ) [W/m <sup>2</sup> ]	
	Fyzické osoby v kom. prostředí	Zaměstnanci
10 MHz - 400 MHz	2	10
400 MHz - 2 GHz	$f/2 \cdot 10^8$	$f/4 \cdot 10^7$
2 GHz - 300 GHz	10	50
Frekvence (f)	Magnetická indukce ( $B^{\text{limit}}$ ) [T]	
	Fyzické osoby v kom. prostředí	Zaměstnanci
10 MHz - 400 MHz	$9,2 \cdot 10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-7}$
400 MHz - 2 GHz	$4,6 \cdot 10^{-12} \cdot f^{0,5}$	$10^{-11} \cdot f^{0,5}$
2 GHz - 300 GHz	$2 \cdot 10^{-7}$	$4,5 \cdot 10^{-7}$
Frekvence (f)	Kontaktní proud ( $I_c^{\text{limit}}$ ) [A]	
	Fyzické osoby v kom. prostředí	Zaměstnanci
0 Hz - 2,5 kHz	$0,5 \cdot 10^{-3}$	$10^{-3}$
2,5 kHz - 100 kHz	$2 \cdot 10^{-7} \cdot f$	$4 \cdot 10^{-7} \cdot f$
100 kHz - 100 MHz	0,02	0,04

Nepřekročení těchto hodnot zajišťuje, že nejsou překročeny nejvyšší přípustné hodnoty. Avšak překročení referenčních hodnot, nemusí nutně znamenat překročení nejvyšších přípustných hodnot. Pokud dojde k překročení referenčních hodnot, musí být výpočtem nebo měřením prokázáno, že nedochází k překročení nejvyšších přípustných hodnot. [2]

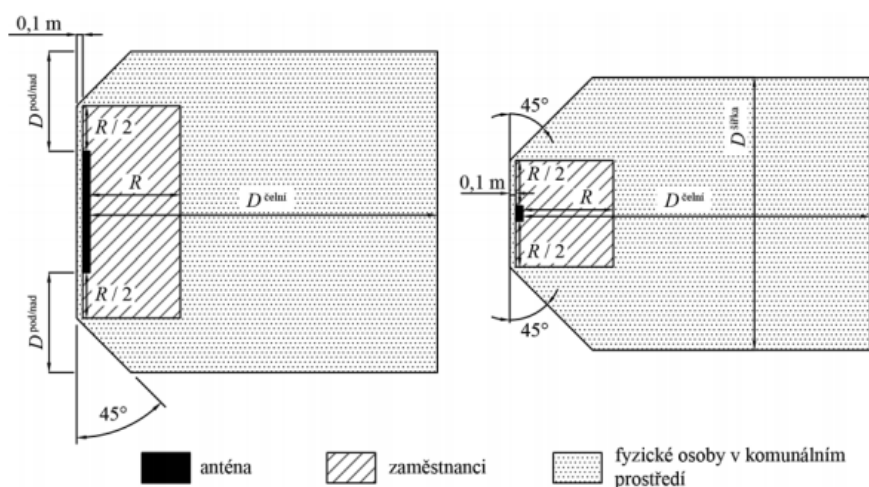
### 1.3 Metodický návod čj.: MZDR 509/2017-19/OVZ

V tomto metodickém návodu, který byl vydán hlavní hygieničkou ČR s čj.: MZDR 509/2017-19/OVZ je uveden výpočet a určení zón pro zaměstnance a fyzické osoby v komunálním prostředí, ve kterých může dojít k dočasnému překročení referenčních hodnot v oblasti antény. Konkrétně se jedná o panelové antény. [3]

Zobrazení těchto zón je vidět na obrázku 1.1 a obrázku 1.2.



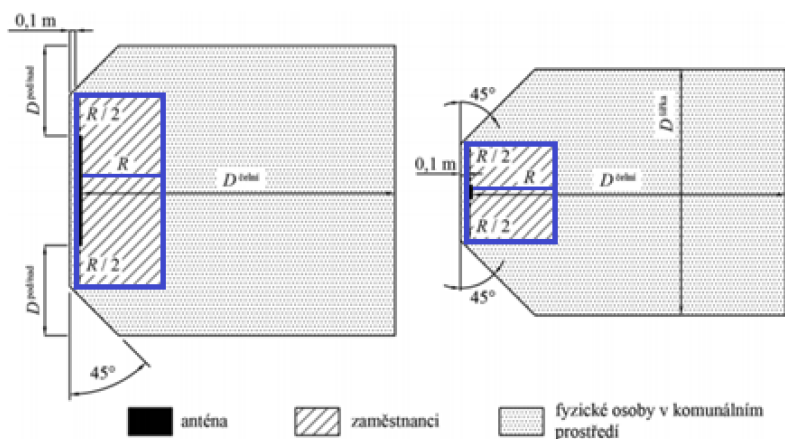
Obrázek 1.1: Axonometrie oblastí shody [3]



Obrázek 1.2: Bokorys (vlevo) a půdorys (vpravo) oblastí, ve kterých může dojít k možnému chvilkovému překročení stanovených limitů [3]

### 1.3.1 Zóna pro zaměstnance - jedna anténa

Při hodnocení expozice zaměstnanců se řídíme nejvyšší přípustnou hodnotu pro měrný absorbovaný výkon tkáně těla (SAR).



Obrázek 1.3: Zobrazení rozměru R [3]

Rozměr R (m), lze vypočítat pouze pomocí výkonu P (W) na svorkách antény a třidecibelovou šířkou svazku v horizontální rovině vyzařovacího diagramu antény  $\varphi_{3dB}$  (°).

Tyto rozměry R jsou určeny v tabulce 1.3.

Tabulka 1.3: Tabulka pro zjištění velikosti oblasti R pomocí P a  $\varphi_{3dB}$  [3]

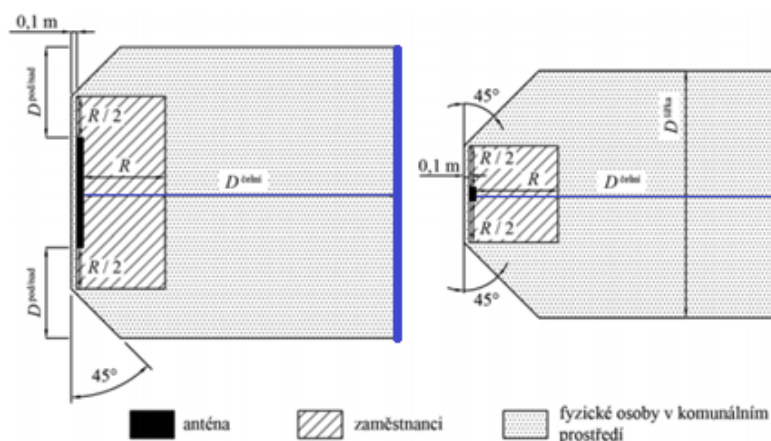
Horizontální rovina vyzařovacího diagramu $\varphi_{3dB} < 60^\circ$								
P [W]	0-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140	140-160	160-180
R [m]	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
Horizontální rovina vyzařovacího diagramu $\varphi_{3dB} > 60^\circ$ (všechny pásma kromě 2600MHz)								
P [W]	0-70	70-120	120-180	180-250	250-300	300-350	350-430	430-500
R [m]	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
Horizontální rovina vyzařovacího diagramu $\varphi_{3dB} > 60^\circ$ (pásmo 2600 MHz)								
P [W]	0-50	50-100	100-180	180-250	250-300	300-350	350-430	430-500
R [m]	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4

### 1.3.2 Zóna pro fyzické osoby v komunálním prostředí - jedna anténa

Určení expoziční situace se u fyzických osob v komunálním prostředí provádí podle referenčních hodnot. Tato oblast, ve které může dojít k překročení referenčních hodnot, má geometrický tvar omezený rovinnými stěnami se skosenými svislými hranami (obrázek 1.1 a 1.2). [3]

Tyto vzdálenosti od antény, ve které mohou být tyto referenční hodnoty překročeny, lze vypočítat dle následujících vztahů:

#### 1.3.2.1 $D^{\text{čelní}}$


Obrázek 1.4: Zobrazení rozměru  $D^{\text{čelní}}$  [3]

Tuto hranici shody určíme jako menší hodnotu z  $D^{\text{čelní FF}}$  a  $D^{\text{čelní NF}}$  [3]:

$$D^{\text{čelní}} = \min(D^{\text{čelní FF}}; D^{\text{čelní NF}}) \quad (1.1)$$

kde  $D^{\text{čelní FF}}$  je hranice shody pro velkou vzdálenost od antény (aproximace bodového zdroje; FF - Far Field) a platí pro něj vztah [3]:

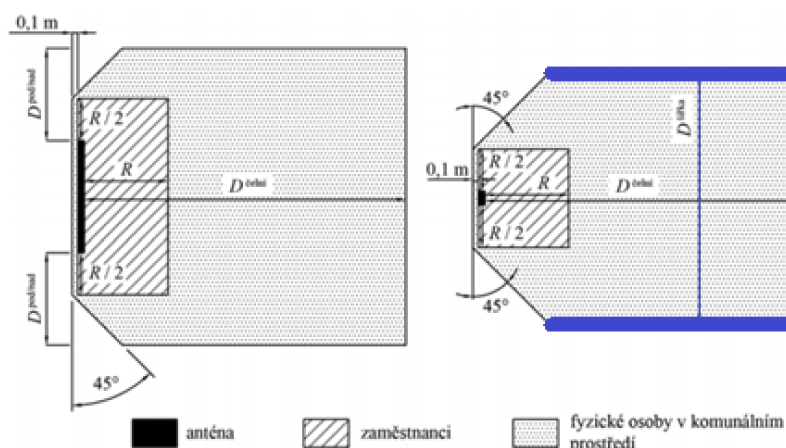
$$D^{\text{čelní FF}} = \sqrt{\frac{P \cdot G}{4 \cdot \pi \cdot S_{\text{limit}}}} \quad (1.2)$$

a  $D^{\text{čelní NF}}$  je hranice shody pro zdroj aproximovaný úsečkou (válcová aproximace; NF - Near Field) a platí pro něj vztah [3]:

$$D^{\text{čelní NF}} = \frac{180 \cdot P}{\pi \cdot S_{\text{limit}} \cdot L \cdot \varphi_{3dB}} \quad (1.3)$$

V těchto dvou vztazích (1.2) a (1.3) je  $P$  - výkon na svorkách antény ve wattech,  $G$  - zisk antény ve směru maxima vyzařování,  $S_{\text{limit}}$  - referenční hodnota hustoty zářivého toku,  $L$  - svislý rozměr antény v metrech,  $\varphi_{3\text{dB}}$  - šířka svazku vyzařování antény v horizontální rovině vyzařovacího diagramu antény pro pokles zářivosti na hodnotu rovnu polovině zářivosti antény ve směru maxima. [3]

### 1.3.2.2 $D^{\text{šířka}}$



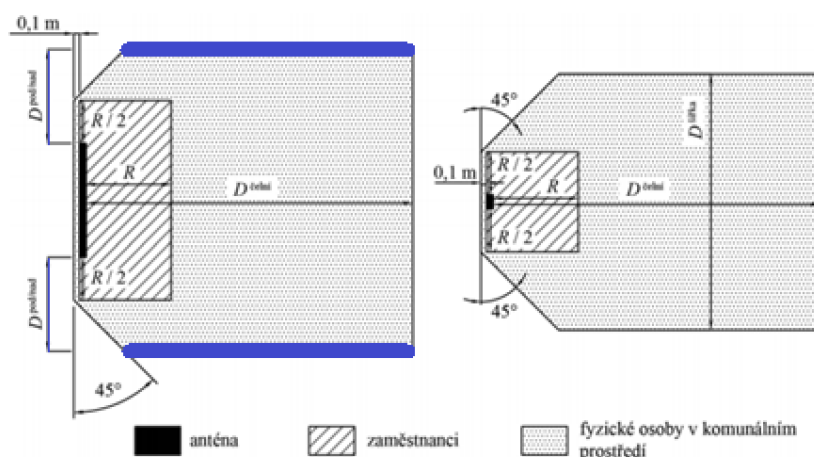
Obrázek 1.5: Zobrazení rozměru  $D^{\text{šířka}}$  [3]

Tato hranice shody je odvozena od hlavního rozměru  $D^{\text{čelní}}$  a je určena následujícím vztahem [3]:

$$D^{\text{šířka}} = 2 \cdot \sin\left(\frac{\varphi_{3\text{dB}}}{2}\right) \cdot \frac{D^{\text{čelní}}}{Q} \quad (1.4)$$

V případě, že  $D^{\text{čelní}}$  byl minimální podle vzorce pro aproximaci bodového zdroje (1.2), pak nabývá koeficient  $Q$  hodnoty  $\sqrt{2}$ , pokud byl minimální podle vzorce pro válcovou aproximaci (1.3), potom nabývá koeficient  $Q$  hodnoty 2. [3]

### 1.3.2.3 $D^{\text{pod/nad}}$



Obrázek 1.6: Zobrazení rozměru  $D^{\text{pod/nad}}$  [3]

Tato hranice shody je také odvozena z hlavního rozměru  $D^{\text{čelní}}$  a je určena větší hodnotou z následujícího vztahu [3]:

$$D^{\text{pod/nad}} = \max\left(\frac{R}{2} + \Delta; D^{\text{čelní}} \cdot \sin\left(\varphi_{\text{tilt}} + \frac{\vartheta_{3\text{dB}}}{2}\right) - \frac{L}{2}\right) \quad (1.5)$$

kde  $\varphi_{\text{tilt}}$  - celkový mechanický a elektrický sklon hlavního svazku ve stupních,  $\vartheta_{3\text{dB}}$  - úhlová šířka svazku ve svislé rovině ve stupních (tuto hodnotu je možné položit rovnou maximální používané hodnotě a to je  $14^\circ$ ) a  $\Delta$  je rovno 0,1 metru. [3]

### 1.3.3 Zóna pro zaměstnance - více antén

Tento výpočet se provádí, pokud je vzdálenost mezi anténami menší nebo rovna 30 metrů. Dochází k sečtení jednotlivých výkonů antén podle toho, jak jsou umístěny a jakým směrem vyzařují (azimut antény), je k jednotlivé anténě také přiřazen koeficient  $M_{Yk}$ .

Vzorec pro výpočet tohoto výkonu je následovný [3]:

$$P_x^{\text{celk}} = P_x + \sum_k P_{Yk} M_{Yk} \quad (1.6)$$

kde  $P_x$  je výkon antény X a  $P_{Yk}$  jsou výkony všech antén, které mohou mít vliv na hranici shody antény X.

Pomocí vypočtené hodnoty  $P_x^{\text{celk}}$  můžeme v tabulce 1.3 nalézt výsledný rozměr  $R_x^{\text{celk}}$  antény X.

Podrobnější popis postupu a určení koeficientu  $M_{Yk}$  je k nalezení v Metodickém návodu [3].

### 1.3.4 Zóna pro fyzické osoby v komunálním prostředí - více antén

Taktéž se tento výpočet provádí, pokud je vzdálenost mezi anténami menší nebo rovna 30 metrů. Vycházíme z hranic shody  $D^{\text{čelní}}$ , které jsou ve vzorcích (1.1), (1.2) nebo (1.3). A také zde se objevuje koeficient  $K_{Yi}$ , který závisí na poloze antény a jejím směru vyzařování.

Vzorec pro výpočet celkového prostoru  $D^{\text{čelní}}$  pro anténu X je dán následovně [3]:

$$D_x^{\text{čelní celk}} = \min \left( \sqrt{(D_x^{\text{čelní FF}})^2 + \sum_i K_{Yi} (D_{Yi}^{\text{čelní FF}})^2}; D_x^{\text{čelní NF}} + \sum_i K_{Yi} D_{Yi}^{\text{čelní NF}} \right) \quad (1.7)$$

Zbylé hodnoty  $D^{\text{šířka}}$  a  $D^{\text{pod/nad}}$  jsou vypočteny podle vzorců (1.4) a (1.5), kdy za  $D^{\text{čelní}}$  dosazujeme naši celkovou hodnotu  $D_x^{\text{čelní celk}}$  pro anténu X.

Podrobnější popis postupu a určení koeficientu  $K_{Yi}$  je taktéž k nalezení v Metodickém návodu [3].

## 1.4 Výpočet velikosti zón pro základnovou stanici kampusové sítě

V tabulce 1.4 máme zadány parametry těchto panelových antén, které se nachází v areálu univerzity.

Tabulka 1.4: Tabulka se základními parametry panelových antén

Označení antény	Označení sloupku	Souřadnice X (m)	Souřadnice Y (m)	Pásmo (MHz)	Výkon (W)	Azimut antény (°)	Výška nad terénem (m)	Tilt mechanický (°)	Tilt elektrický (°)	Zisk antény (dBi)	Délka antény (m)	Horizontální šířka svazku 3dB (°)
L_316859_40°	S1	0	0	2600	40	40	1,4	0	12	18	1,4	65
L_316859_180°	S1	0,38	-0,92	2600	40	40	1,4	0	12	18	1,4	65

Ukázkový výpočet pro první anténu (L\_316859\_40°) je následovný:

**Výpočet R:**

Horizontální šířka svazku 3dB je 65°, pásmo je 2600 MHz a výkon na svorkách antény je 40 W, výsledný rozměr R zjištěn dle tabulky 1.3.

**R = 0,5 metrů**

**Výpočet  $D^{\text{čelní}}$ :**

$$D^{\text{čelní}} = \min \left( \sqrt{\frac{P \cdot G}{4 \cdot \pi \cdot S_{\text{limit}}}}, \frac{180 \cdot P}{\pi \cdot S_{\text{limit}} \cdot L \cdot \varphi_{3\text{dB}}} \right)$$

$$D^{\text{čelní}} = \min \left( \sqrt{\frac{40 \cdot 18}{4 \cdot \pi \cdot 10}}, \frac{180 \cdot 40}{\pi \cdot 10 \cdot 1,4 \cdot 65} \right)$$

$$D^{\text{čelní}} = \min(2,39; 2,52)$$

**$D^{\text{čelní}} = 2,39$  metrů**

**Výpočet  $D^{\text{šířka}}$ :**

$$D^{\text{šířka}} = 2 \cdot \sin\left(\frac{\varphi_{3\text{dB}}}{2}\right) \cdot \frac{D^{\text{čelní}}}{Q}$$

$$D^{\text{šířka}} = 2 \cdot \sin\left(\frac{65}{2}\right) \cdot \frac{2,39}{\sqrt{2}}$$

**$D^{\text{šířka}} = 1,81$  metrů**

**Výpočet  $D^{\text{pod/nad}}$ :**

$$D^{\text{pod/nad}} = \max \left( \frac{R}{2} + \Delta; D^{\text{čelní}} \cdot \sin \left( \varphi_{\text{tilt}} + \frac{\vartheta_{3\text{dB}}}{2} \right) - \frac{L}{2} \right)$$

$$D^{\text{pod/nad}} = \max \left( \frac{0,5}{2} + 0,1; 2,39 \cdot \sin \left( 12 + \frac{14}{2} \right) - \frac{1,4}{2} \right)$$

$$D^{\text{pod/nad}} = \max(0,35; 0,08)$$

**$D^{\text{pod/nad}} = 0,35$  metrů**

V následující tabulce 1.5 můžeme vidět vypočtené rozměry pro obě panelové antény.

Tabulka 1.5: Výsledné rozměry

Označení antény	Sloupek	D čelní [m]	D šířka [m]	D pod/nad [m]	D zadní [m]	R [m]
L_316859_40°	S1	2,39	1,81	0,35	0,1	0,5
L_316859_185°	S1	2,39	1,81	0,35	0,1	0,5



## 2 Měření reálných hodnot v areálu univerzity

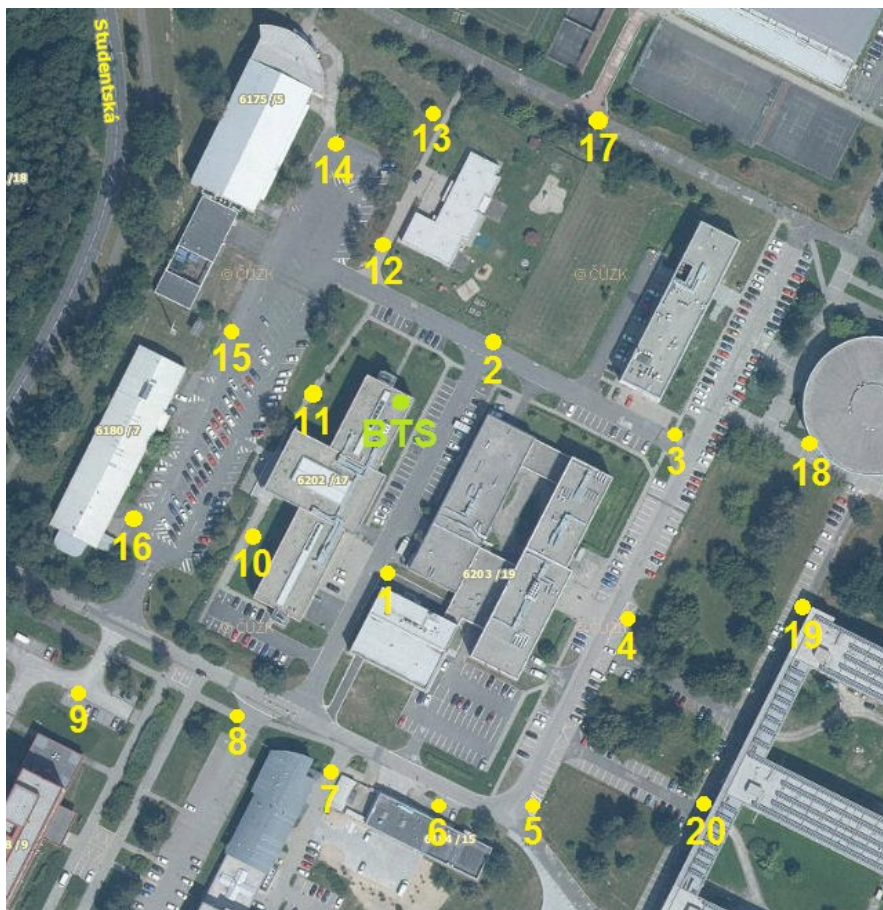
### 2.1 Místa pro měření

Dodržování hygienických limitů v areálu univerzity VŠB-TU v Ostravě-Porubě jsem ověřil pomocí měření hodnot intenzity elektrického pole na vybraných místech. Místa jsem volil v okolí umístění základnové stanice, která se nachází na severovýchodní straně budovy CPI (Centrum podpory inovací). Tuto základnovou stanici můžeme vidět na obrázku 2.1.



Obrázek 2.1: Venkovní základnová stanice umístěna na střeše CPI

Celkově bylo provedeno 20 měření. K uložení pozic jsem použil mobilní aplikaci, která mi dovolila zobrazit GPS souřadnice daného místa, na kterém se měření provádělo. Tato konkrétní místa jsem zakreslil do mapy na obrázku 2.2.



Obrázek 2.2: Místa měření zaznačená do mapy

Body jsem volil v závislosti na počtu výskytu osob v daných místech. Několik bodů jsem zvolil v blízkosti mateřské školy, která je umístěna pár desítek metrů od základnové stanice. Další body jsem zvolil jak v blízkosti okolních budov, tak v místech určena pro parkování.

## 2.2 Přístroje použité pro měření

Pro měření hodnot intenzity elektrického pole byly použity dva různé přístroje. Prvním z nich byl širokopásmový měřič elektromagnetického pole Wandel & Goltermann EMR-30 a druhým byl spektrální analyzátor Spectran HF-60105. Další veličinu, kterou jsem změřil, byl indikátor intenzity signálu (RSSI) pomocí aplikace TEMS Pocket v chytrém mobilním telefonu.

### 2.2.1 Wandel & Goltermann EMR-30

Jedná se o širokopásmový měřič elektromagnetického pole, který byl vyráběn firmou Wandel & Goltermann, pocházející z Německa, založenou již roku 1923. Během let došlo k mnoha sjednocením s dalšími společnostmi. K tomuto roku existuje společnost Viavi, která se během let vyvinula z různých společností, mezi nimiž je i právě Wandel & Goltermann. [4]

Přístroj je vybaven sondou typu 8, která má tří rozměrovou, izotropní směrovou charakteristiku, takže nezáleží na pozici, ve které je daný přístroj použit. Zároveň je určen k měření elektromagnetických polí v rozsahu frekvencí od 100 kHz do 3 GHz. [5]

Zařízením můžeme měřit intenzitu elektrického pole (V/m), intenzitu magnetického pole (A/m), hustotu zářivého toku ( $\text{mW}/\text{cm}^2$  nebo  $\text{W}/\text{m}^2$ ) nebo také můžeme nastavit limitní hodnoty daných veličin a měřit tuto hodnotu v procentech vzhledem k nastavené limitní hodnotě. Měřené hodnoty

se nám zobrazí zapsány na dvě desetinná místa spolu s měřenou jednotkou na velkém sedmisegmentovém LC displeji. [6]

Hodnotu můžeme zobrazovat ve 4 módech: aktuální, nejvyšší, průměrnou a nejvyšší průměrnou. Taktéž je možné nastavit časové intervaly mezi naměřenými hodnotami a to od 0,4 sekund až do 90 sekund. Měřič je taktéž vybaven pamětí, do které můžeme uložit až 1500 naměřených jednotlivých hodnot nebo sekvencí měření. [6]

Celý přístroj je napájen dvěma tužkovými AA bateriemi a můžeme s nimi dosáhnout provozní doby až 15 hodin. [5]

Více informací o tomto zařízení můžeme najít v datasheetu [5] (příloha A) nebo manuálu (německy) [6] (příloha B) daného přístroje.



Obrázek 2.3: Měřicí přístroj Wandel & Goltermann EMR-30

### 2.2.2 Spectran HF-60105

Přístroj je vyráběn a vyvíjen firmou Aaronia AG, která sídlí v Německu. Tato firma se již od roku 2003 zaměřuje na výrobu a vývoj měřicích, sledovacích a monitorovacích technologií. [7]

Jedná se o spektrální analyzátor, který měří ve frekvenčním pásmu od 1 MHz do 9,4 GHz. Přístroj byl vybaven směrovou anténou HyperLOG 60100, která je k tomuto přístroji dodávána v původním balení. [8]

Skrze USB konektor, který se na přístroji nachází, můžeme k přístroji připojit počítač, popřípadě notebook, na kterém můžeme v aplikaci MCS Analysis Spectrum Software nastavovat a upravovat hodnoty, které chceme měřit, a zároveň sledovat měřené hodnoty v reálném čase. Tyto naměřené hodnoty a grafy si tak lehce můžeme uložit přímo v počítači. [9]

Pokud nechceme přístroj ovládat skrze aplikaci na připojeném počítači, můžeme použít pro ovládání tlačítka, která se nachází přímo na přístroji a pomocí kterých si můžeme navolit hodnoty,



které chceme měřit a zobrazovat. Naměřené hodnoty se zobrazí na LC displeji, kterým je přístroj také vybaven. [9]

Přístrojem můžeme měřit například intenzitu elektrického pole (V/m), intenzitu magnetického pole (A/m) nebo hustotu zářivého toku ( $W/m^2$ ). V případě měření skrze aplikaci můžeme zobrazovat hodnoty v jiných jednotkách, například hustotu zářivého toku ve  $W/cm^2$ . [9]

Celý přístroj je vybaven vestavěnou znovu nabíjecí baterií, která má kapacitu 1300 mAh a umožní nám tak nepřetržité měření po dobu 2 hodin. [9]

Další potřebné informace o tomto měřicím přístroji, lze najít v datasheetu [8] (Příloha C) nebo manuálu [9] (Příloha D).



Obrázek 2.4: Měřicí přístroj Spectran HF-60105

### 2.3 Naměřené hodnoty elektrického pole v běžném provozu

Pomocí přístroje Wandel & Goltermann EMR-30 jsem na každé pozici naměřil 10 vzorků a zjistil medián z těchto hodnot. Tak vznikla výsledná hodnota intenzity elektrického pole naměřená pomocí tohoto přístroje.

V případě přístroje Spectran HF-60105, jsem k tomuto přístroji připojil notebook, na kterém jsem měl spuštěnou aplikaci MCS Analysis Spectrum Software, která sloužila k ukládání jednotlivých naměřených hodnot a také k realtime zobrazení měřené hodnoty. Tímto přístrojem jsem měřil jen frekvenční pásmo v rozsahu 2640 MHz až 2660 MHz, to odpovídá frekvenčnímu pásmu pro downstream, na kterém pracuje měřená základnová stanice. Přístrojem jsem na každém stanovišti zaznamenal pět vzorků a výslednou hodnotu jsem získal jako medián ze všech naměřených pěti vzorků.

V tabulce 2.1 jsou uvedeny naměřené hodnoty intenzity elektrického pole pomocí těchto dvou přístrojů, a také naměřené hodnoty RSSI pomocí aplikace TEMS Pocket v mobilním telefonu. V

případě měřicích přístrojů W&G EMR-30 a Spectran HF-60105 jsou uvedené hodnoty zaokrouhleny na dvě desetinná místa.

Tabulka 2.1: *Naměřené hodnoty v běžném provozu venkovní základnové stanice*

Pozice	Wandel & Goltermann EMR-30	Spectran HF-60105	TEMS Pocket
	Intenzita elektrického pole [V/m]	Intenzita elektrického pole [V/m]	RSSI [dBm]
1	0,43	0,03	-68
2	0,62	0,01	-73
3	0,42	0,01	-81
4	0,7	0,01	-84
5	1,27	0,01	-84
6	1,56	0,01	-80
7	0,72	0,02	-72
8	0,61	0,01	-82
9	0,36	0,01	-91
10	0,31	0,01	-89
11	0,58	0,01	-82
12	0,62	0,01	-84
13	0,7	0,01	-82
14	0,42	0,01	-80
15	0,38	0,01	-89
16	0,26	0,01	-87
17	1,02	0,03	-67
18	0,36	0,02	-71
19	0,45	0,01	-85
20	0,61	0,01	-88

## 2.4 Naměřené hodnoty elektrického pole pro maximální provozní zatížení

Na pěti bodech, které jsem vybral pro měření, jsem stejným stylem měřil hodnotu intenzity elektrického pole pro maximální provozní zatížení rádiového sektoru základnové stanice. Tento stav jsem navodil pomocí mobilního telefonu, který byl připojen ke kampusové síti se spuštěnou aplikací iperf. Tímto došlo ke stahování dat a v rámci rádiového sektoru základnové stanice k maximálnímu navýšení vysílacího výkonu. Naměřené hodnoty jsou zapsány v tabulce 2.2.

Tabulka 2.2: *Naměřené hodnoty pro maximální provozní zatížení venkovní základnové stanice*

Pozice	Wandel & Goltermann EMR-30	Spectran HF-60105
	Intenzita elektrického pole [V/m]	Intenzita elektrického pole [V/m]
1	0,55	0,02
2	0,84	0,04
3	0,8	0,02
7	0,93	0,06
12	0,73	0,07

## 2.5 Naměřené hodnoty elektrického pole s vypnutou rádiovou jednotkou

Domluvou s T-mobilem, který tuto základnovou stanici provozuje, bylo zajištěno i dočasné vypnutí rádiové jednotky na základnové stanici po dobu přibližně pěti minut. Během této doby jsem spektrálním analyzátozem Spectran HF-60105, na vysílacích frekvencích 2640 MHz až 2660 MHz nenaměřil žádnou hodnotu, jak se i předpokládalo. Širokopásmový měřič Wandel & Goltermann EMR-30 stále měřil určité hodnoty, ale jednalo se o jiné zdroje záření, než právě o intenzitu elektrického pole způsobenou touto základnovou stanicí.

## 3 Simulace v programu Wireless Insite

### 3.1 Základní popis programu Wireless Insite

Jedná se o placený softwarový nástroj, který nám umožňuje přesnou simulaci šíření elektromagnetických vln v libovolných prostředích. Toto prostředí může být jak venkovní, tak vnitřní. Lze také do tohoto prostředí zahrnout vegetaci, či geografické jevy (převýšení, členitost terénu a další). [11]

Tento software je vyvíjený firmou Remcom, která existuje již od roku 1994 a stojí za další řadou nástrojů, které jsou určeny pro simulaci. Wireless Insite můžeme získat i zadarmo v třiceti denní zkušební době, ve které máme možnost program vyzkoušet. [11]

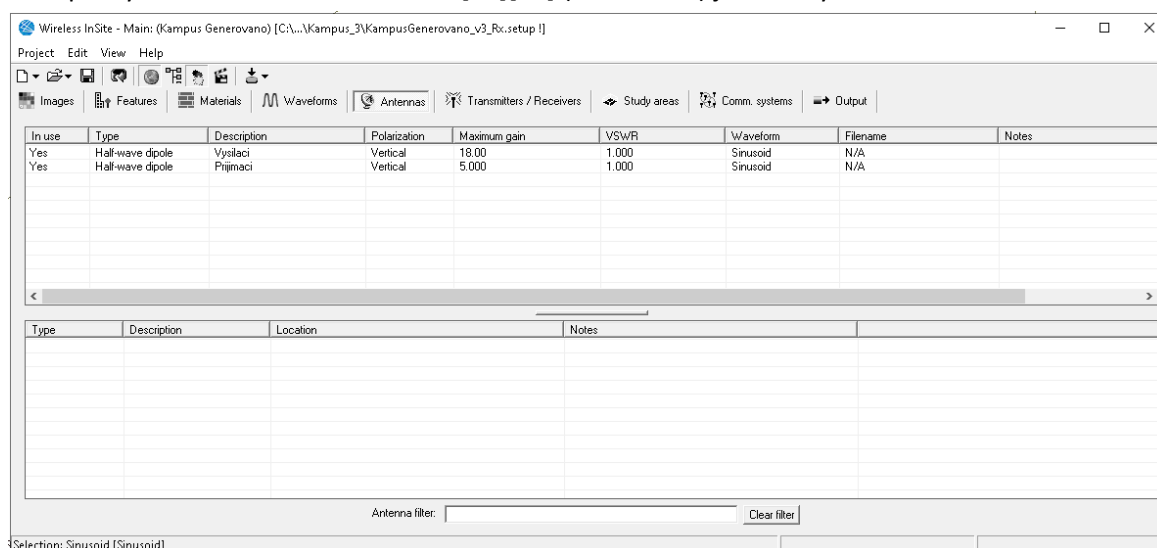
Více informací ohledně tohoto programu můžeme získat buď na oficiálních stránkách společnosti Remcom [10] nebo v bakalářské práci Práce se softvérovým nástrojem Wireless InSite Pro [11], ve které je popsána i práce s daným programem.

### 3.2 Simulace skutečného měření hodnot a jejich porovnání

Kromě samotné simulace pokrytí kampusovou 4G sítí jsem provedl i porovnání skutečných hodnot s hodnotami ze simulace. Kdy jsem si vybral 10 pozic z měření, konkrétně sudé měřicí body, a na těchto bodech nasimuloval hodnotu intenzity elektrického pole a hodnotu intenzity signálu (stejně parametry, které jsem měřil v druhé části).

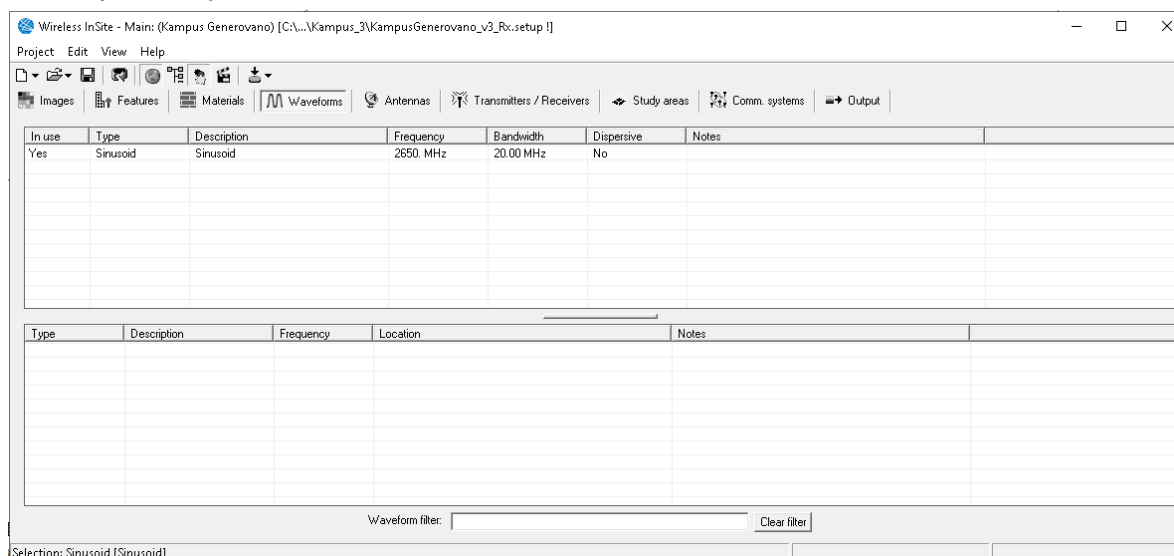
#### 3.2.1 Postup vytváření simulace

Do mého nového projektu jsem si vložil již předem vytvořený 3D model kampusu, který byl použit v diplomové práci Analýza vlivu detailu objektů v prostředí Remcom Wireless InSite [12], to znamená terén a objekty. Jako typ materiálu pro objekty jsem použil pouze beton. Následně jsem začal vytvářet v záložce Antennas (obrázek 3.1) antény pro vysílač a přijímač. Jako typ antény vysílače jsem zvolil Half-wave dipól, protože se nejvíce blíží skutečnému vysílači, a jeho zisk jsem nastavil na 18 dBi [13] (Příloha E). U přijímače jsem taktéž zvolil typ Half-wave dipól a nastavil jeho zisk na 5 dBi [14] (Příloha F). Oba tyto zisky antén jak pro vysílač, tak přijímač, jsou nastaveny podle informací, které jsou napsány v oficiálních datasheetech [13][14] (Příloha E-F) jednotlivých antén.



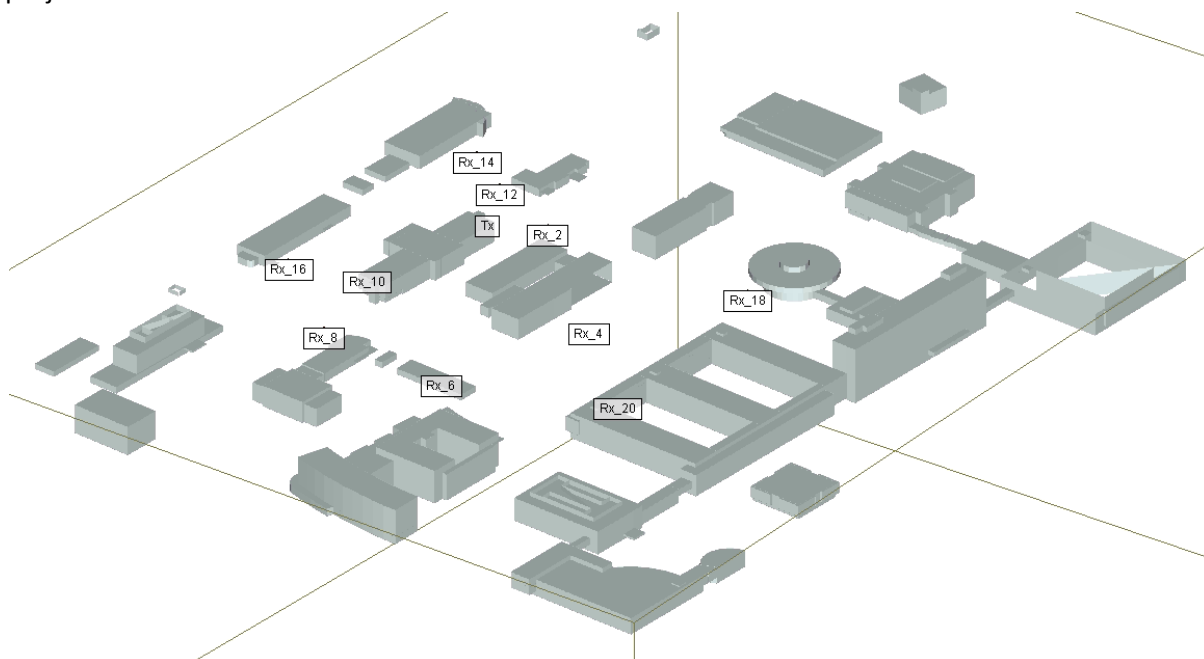
Obrázek 3.1: Záložka Antennas

Dále bylo zapotřebí nastavit charakter elektromagnetických vln v záložce Waveforms (obrázek 3.2). Zde jsem nastavil sinusový průběh s nosnou frekvencí 2650 MHz a pásmem 20 MHz (tj. 2640 - 2660 MHz), což je frekvence, na které kampusová 4G síť vysílá. Takto definovanou sinusoidu jsem přiřadil k jednotlivým anténám v záložce Antennas.



Obrázek 3.2: Záložka Waveforms

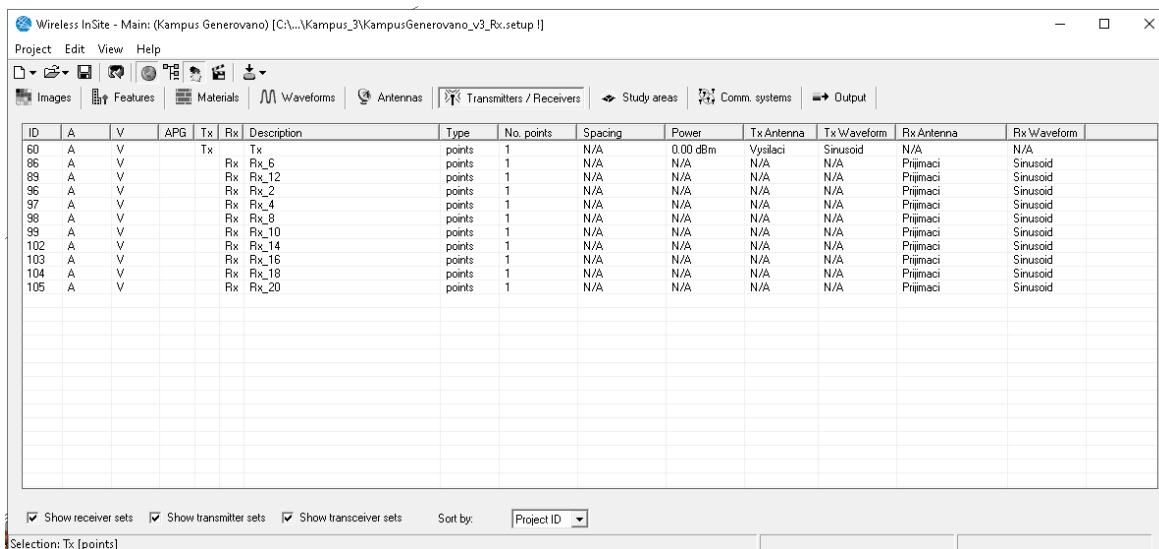
Následně jsem do projektu umístil všechny měřené body a vysílač. To jsem provedl tím, že jsem si otevřel náhled projektu a přes Project → New → Receiver Set / Transmitter Set → Points vložil vysílací nebo přijímací bod kliknutím na pozici, kde se má tento bod nacházet. Při zadání hodnot z GPS souřadnic došlo u některých bodů k odchylce, která dosahovala až několika jednotek metrů. Proto jsem jednotlivé měřící body vkládal ručně, tak aby se co nejvíce přiblížily skutečnému místu měření. Následně jsem tento bod pojmenoval, přiřadil mu anténu, která je nadefinovaná v záložce Antennas (obrázek 3.1) a napsal výšku tohoto bodu v metrech nad mořem. Umístění těchto bodů v projektu lze vidět na obrázku 3.3.



Obrázek 3.3: Umístění bodů v náhledu projektu



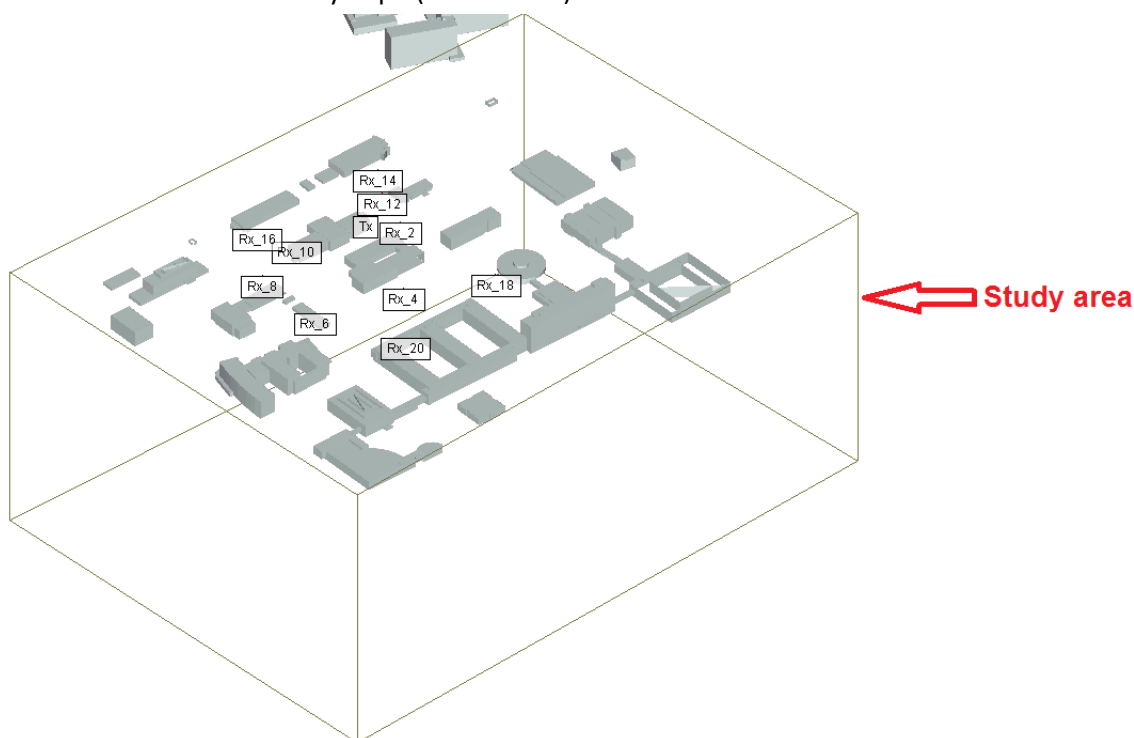
Na obrázku 3.4 je zobrazen výpis jednotlivých bodů v záložce Transmitters / Recievers.



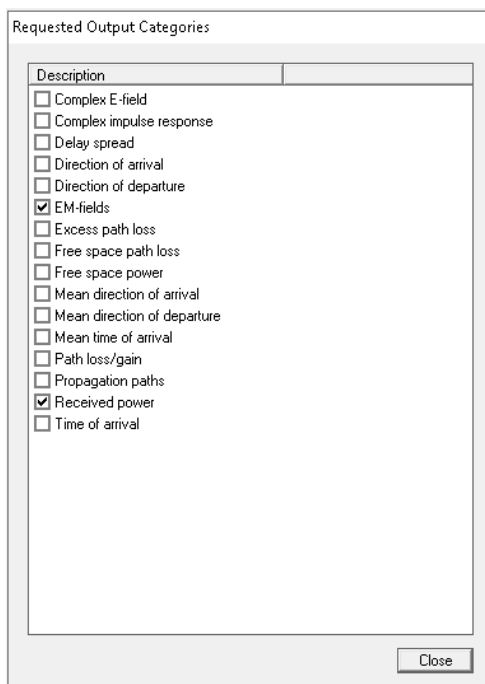
ID	A	V	APG	Tx	Rx	Description	Type	No. points	Spacing	Power	Tx Antenna	Tx Waveform	Rx Antenna	Rx Waveform
60	A	V		Tx		Tx	points	1	N/A	0.00 dBm	Vysílací	Sinusoid	N/A	N/A
86	A	V			Rx	Rx_6	points	1	N/A	N/A	N/A	N/A	Přijímací	Sinusoid
89	A	V			Rx	Rx_12	points	1	N/A	N/A	N/A	N/A	Přijímací	Sinusoid
96	A	V			Rx	Rx_2	points	1	N/A	N/A	N/A	N/A	Přijímací	Sinusoid
97	A	V			Rx	Rx_4	points	1	N/A	N/A	N/A	N/A	Přijímací	Sinusoid
98	A	V			Rx	Rx_8	points	1	N/A	N/A	N/A	N/A	Přijímací	Sinusoid
99	A	V			Rx	Rx_10	points	1	N/A	N/A	N/A	N/A	Přijímací	Sinusoid
102	A	V			Rx	Rx_14	points	1	N/A	N/A	N/A	N/A	Přijímací	Sinusoid
103	A	V			Rx	Rx_16	points	1	N/A	N/A	N/A	N/A	Přijímací	Sinusoid
104	A	V			Rx	Rx_18	points	1	N/A	N/A	N/A	N/A	Přijímací	Sinusoid
105	A	V			Rx	Rx_20	points	1	N/A	N/A	N/A	N/A	Přijímací	Sinusoid

Obrázek 3.4: Záložka Transmitters / Recievers

Poté jsem v záložce Study area vytvořil studijní oblast, ve které jsem zvolil manuálně hranice, ve kterých se bude provádět simulace (obrázek 3.5). Taktéž jsem zde zaškrtnul hodnoty, které se budou simulovat a které dostanu na výstupu (obrázek 3.6).

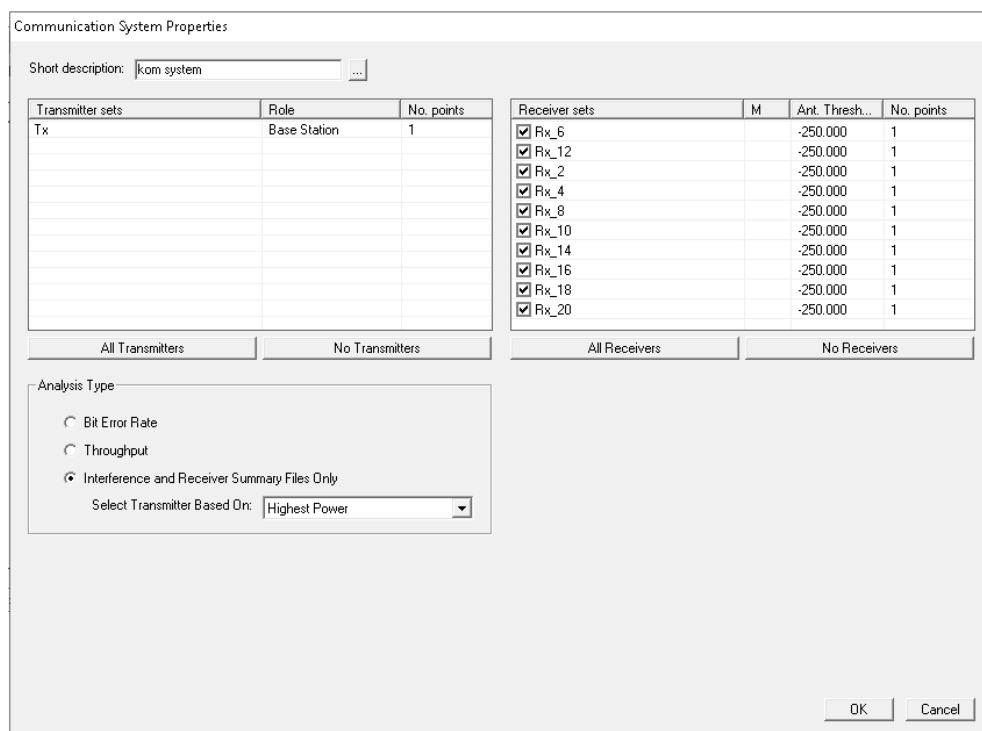


Obrázek 3.5: Zobrazení Study area v náhledu projektu



Obrázek 3.6: Zvolené hodnoty v nastavení studijní oblasti

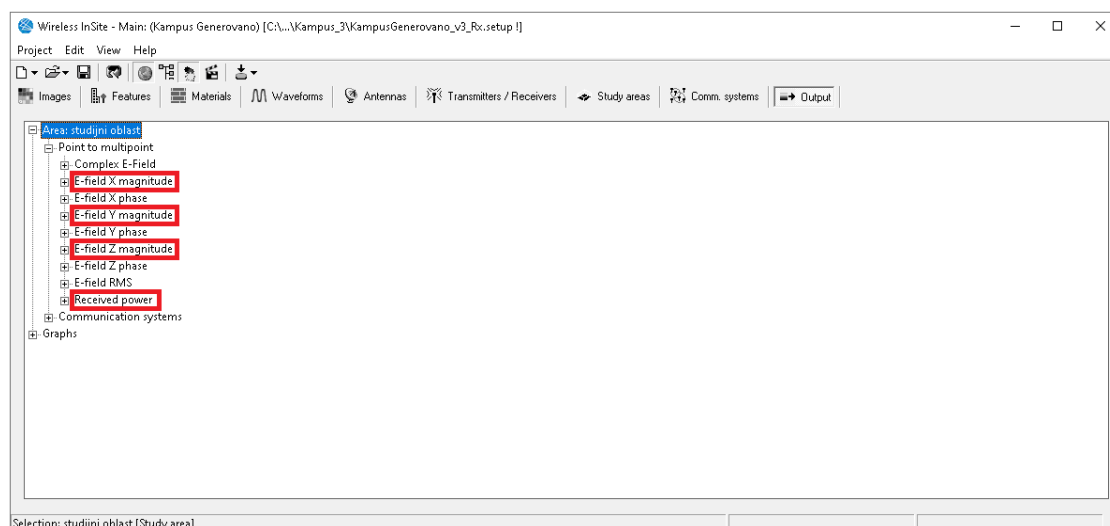
Nakonec stačilo přidat do projektu komunikační systém v záložce Communication systems, kde jsem zvolil jednotlivé přijímací a vysílací sady (obrázek 3.7).



Obrázek 3.7: Nastavení komunikačního systému (kom system)

### 3.2.2 Výstup simulace a porovnání těchto hodnot s naměřenými hodnotami

Po provedení simulace jsem dostal výsledné hodnoty vypsány v záložce Output, kde jsem pro porovnání potřeboval hodnoty E-field X magnitude ( $E_x$ ), E-field Y magnitude ( $E_y$ ), E-field Z magnitude ( $E_z$ ) a Recieved Power.



Obrázek 3.8: Záložka Output a označení důležitých hodnot

Absolutní hodnotu intenzity elektrického pole jsem získal dosazením jednotlivých složek intenzity elektrického pole do následujícího vzorce:

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2} \quad (3.1)$$

Nasimulované hodnoty jednotlivých složek intenzity elektrického pole a vypočítané výsledné hodnoty intenzity elektrického pole na jednotlivých pozicích jsou uvedeny v tabulce 3.1. Tyto hodnoty jsem zaokrouhlil na tři desetinná místa.

Tabulka 3.1: Vypočítané absolutní hodnoty intenzity elektrického pole

Pozice	$E_x$ [V/m]	$E_y$ [V/m]	$E_z$ [V/m]	Celková intenzita elektrického pole [V/m]
2	0,016	0,017	0,038	0,045
4	0	0	0,002	0,002
6	0,001	0,001	0,014	0,014
8	0,001	0	0,006	0,006
10	0	0,001	0,001	0,001
12	0,003	0,007	0,035	0,036
14	0,004	0,005	0,038	0,039
16	0	0	0,002	0,002
18	0	0	0	0
20	0	0	0,003	0,003

V tabulce 3.2 následuje srovnání naměřených hodnot z druhé části a simulovaných hodnot pomocí Wireless Insite.

Tabulka 3.2: Srovnání naměřených hodnot a simulovaných hodnot

Pozice	Naměřené		Simulované	
	Spectran HF-60105	Pocket TIMS	Wireless Insite	Wireless Insite
	Intenzita elektrického pole [V/m]	Received power [dBm]	Intenzita elektrického pole [V/m]	Received power [dBm]
2	0,01	-73	0,045	-52
4	0,01	-84	0,002	-79
6	0,01	-80	0,014	-61
8	0,01	-82	0,006	-68
10	0,01	-89	0,001	-89
12	0,01	-84	0,036	-53
14	0,01	-80	0,039	-52
16	0,01	-87	0,002	-78
18	0,01	-71	0	-
20	0,01	-88	0,003	-73

Hodnoty nasimulované se blížily hodnotám naměřeným, jsou zde však určité odchylky (například bod číslo 18 z neznámého důvodu nenaměřil v programu Wireless Insite žádné hodnoty), které jsem předpokládal, jelikož simulací nedocílíme stejných podmínek, jako tomu bylo při měření.

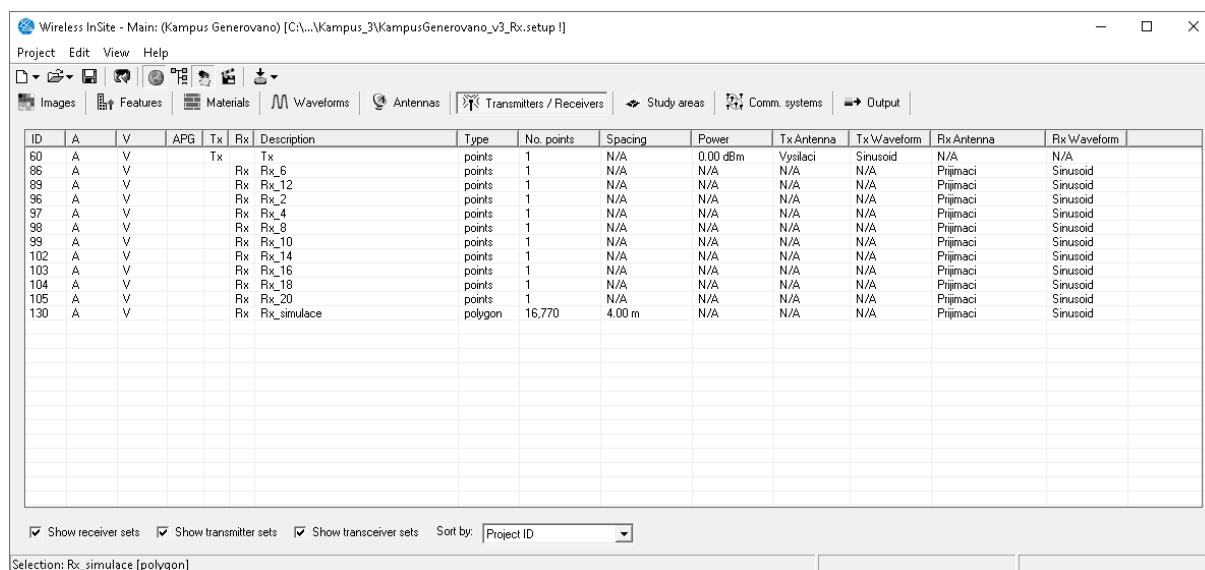
Odchylky mezi naměřenými a nasimulovanými hodnotami mohou být způsobeny:

- vlastní chybou měření
- měřící body nemusí být přesně na stejném místě, jako tomu bylo při měření
- směrovost antén použitých ve Wireless Insite může být rozdílná (volil jsem typ Half-wave dipól, který se nejvíce blíží skutečnosti)
- materiály, které byly použity při simulaci, nemusí odpovídat skutečnosti (budovy v simulaci jsou z betonu, nenacházejí se zde okna, ap.)

### 3.3 Simulace pokrytí kampusovou 4G sítí

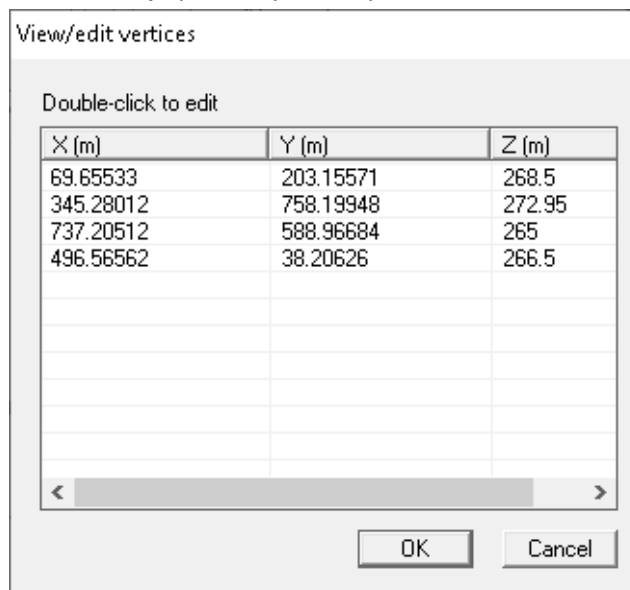
#### 3.3.1 Vytváření simulace

Pro provedení této simulace jsem pokračoval dále v předchozím uvedeném projektu. Do něj jsem si přidal polygon, tak abych změnil hodnoty na celé oblasti. Ten jsem přidal přes Project → New → Receiver Set / Transmitter Set → Polygon a označil jsem v náhledu projektu, kde se tato plocha má rozpínat. Tomuto polygonu jsem poté přiřadil přijímací anténu.



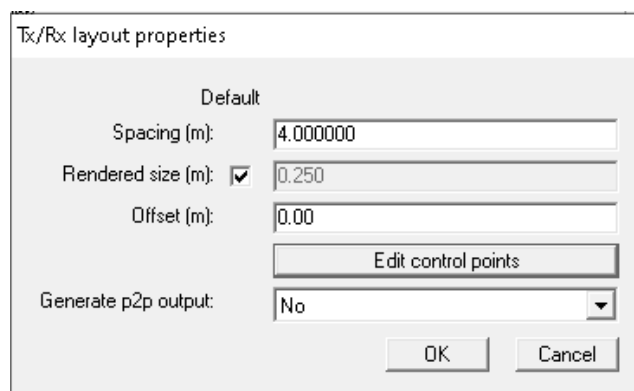
Obrázek 3.9: Záložka Transmitters / Recievers

Následně jsem musel zvolit umístění této plochy podle výšky nad mořem, namísto terénu. V případě vybrání umístění nad terénem, simulace zobrazovala nesmyslné hodnoty (na všech místech byla velmi špatná hodnota přijímací úrovně, v podstatě pouze šum). Jednotlivé body polygonu jsem tedy musel dát do různých výšek (terén v kampusu univerzity je poměrně členitý), tak aby se nenacházely tyto body pod terénem (to by vedlo k nasimulování špatných hodnot). Zkoušením jednotlivých hodnot jsem došel k nejlepšímu výsledku při hodnotách uvedených na obrázku 3.10.



Obrázek 3.10: Nastavení hranic Polygonu (Rx\_simulace)

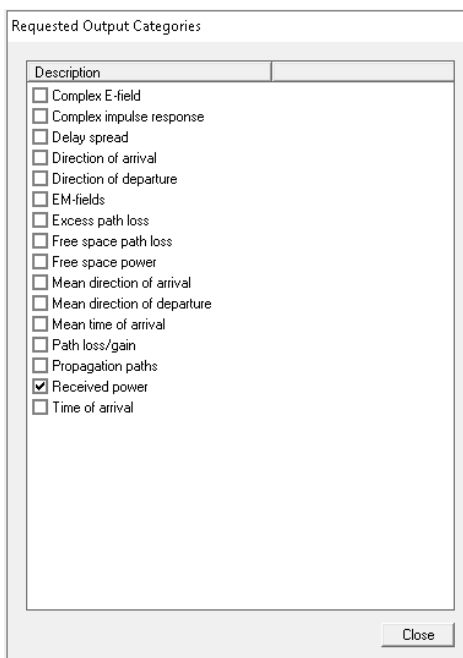
Taktéž další důležitou hodnotou, která byla potřeba nastavit u tohoto polygonu, byl Spacing, který nám zajistil co největší koncentraci měřících bodů v tomto polygonu. V případě zvolení hodnoty Spacing na 3 a méně metrů (to znamená, že každé 3 metry jak na ose X, tak na ose Y, je umístěn jeden měřící bod) došlo během běhu výpočtu této simulace k přerušení z důvodu nedostatku paměti na PC, který tuto simulaci prováděl. Musel jsem tedy vhodně zvolit nastavení hodnoty Spacing s ohledem na technické parametry počítače, který tuto simulaci prováděl. Nakonec jsem tedy nastavil hodnotu Spacing na 4 metry.



Obrázek 3.11: *Nastavení hodnoty Spacing u Polygonu (RX\_simulace)*

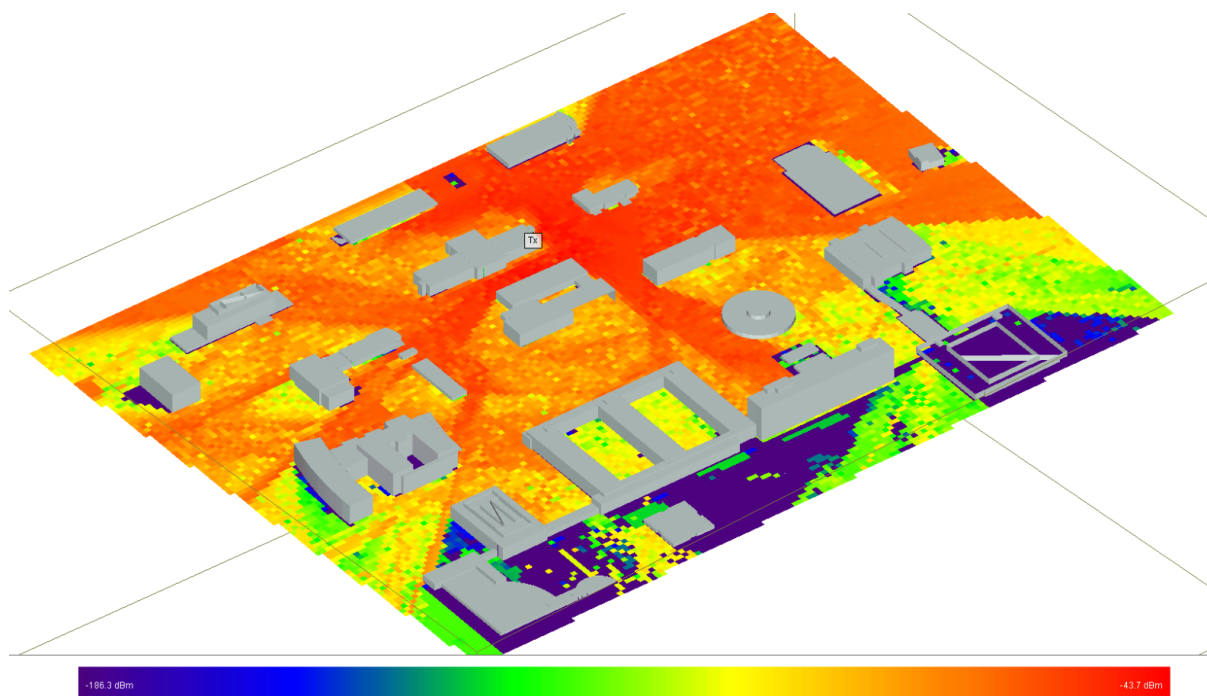
### 3.3.2 Výstup simulace

Po předešlých popsáních kroků stačilo ve studijní oblasti nastavit Output hodnoty pouze na Received Power, což byla potřebná informace, kterou jsem chtěl zjistit v mé simulaci.



Obrázek 3.12: *Zvolené hodnoty ve studijní oblasti pro simulaci*

Poté stačilo spustit výpočet a následně zobrazit grafický výstup této simulace. Tento výstup můžeme vidět na obrázku 3.13.

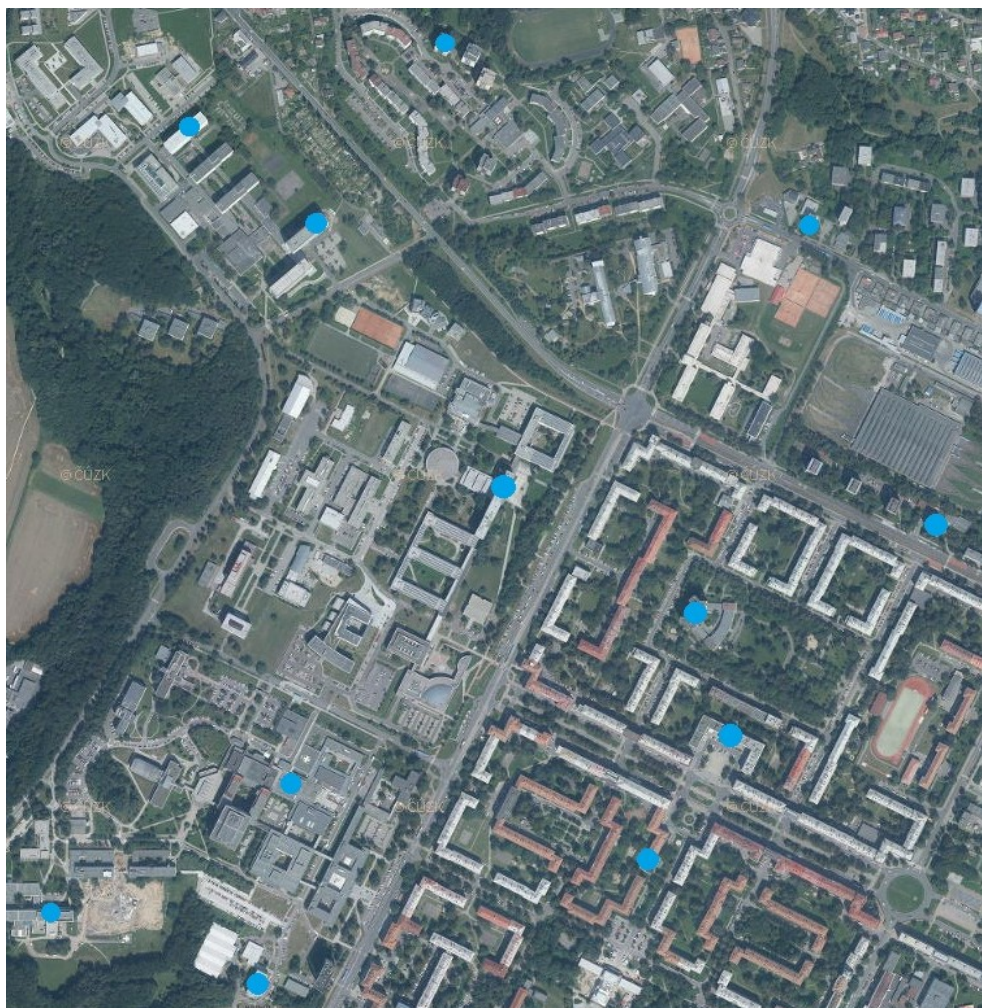


Obrázek 3.13: *Grafický výstup simulace pokrytí kampusovou 4G sítí*

Můžeme tedy vidět, že místa v zákrytu za vysílačem mají menší hodnotu přijímací úrovně, než je tomu u míst, které jsou ve volné viditelnosti vysílače.

## 4 Zhodnocení a porovnání naměřených hodnot s limity

Měřicím přístrojem Wandel & Goltermann EMR-30 jsem změřil veškeré zdroje elektrického pole, které přispívají ke konečné hodnotě, a to v kmitočtech od 100 kHz do 3 GHz, takže se zde můžou objevit i příspěvky okolních základnových stanic mobilních operátorů. Tyto základnové stanice, které jsou umístěny ve vzdálenosti přibližně do 1 kilometru od měřených pozic a mohou tak ovlivňovat celkovou intenzitu elektrického pole, jsou zakresleny do mapy na obrázku 4.1.



Obrázek 4.1: Základnové stanice mobilních operátorů v okruhu 1 kilometru od oblasti měření

Dále zde můžou být příspěvky od televizních vysílačů, například televizního vysílače Ostrava-Hošťálkovice. Další příspěvky okolních přístupových bodů WLAN a další neznámé zdroje rádiového signálu v rozmezí kmitočtů 100 kHz až 3 GHz.

Avšak ani na jedné z měřených pozic nedošlo k překročení hygienického limitu pro intenzitu elektrického pole určené v Nařízení vlády č. 291/2015 Sb. (tabulka 1.2). Tento limit je 61 V/m a nesmí být překročen. Při pohledu do tabulky 2.1 vidíme, že ani zdaleka nedošlo k překročení této hodnoty na vybraných místech. Největší celková hodnota intenzity elektrického pole byla naměřena na pozici s číslem 6 a činila 1,56 V/m. Ani při maximálním provozním zatížení venkovní základnové stanice nedošlo na měřených místech k překročení této limitní hodnoty, což můžeme vidět v tabulce 2.2. V tabulce 4.1 se nachází slovní okomentování, zda došlo k dodržení limitů na jednotlivých měřených místech.



Taktéž jsem měřením zjistil, jaký podíl má na této hodnotě intenzity elektrického pole samotná základnová stanice (4G kampusová síť). Tyto podíly v procentech na jednotlivých místech měření jsou uvedeny v tabulce 4.1. Lze tak vidět, že kampusová 4G síť má na celkových hodnotách minimální podíl (maximálně se jednalo přibližně o 7 %) a je opravdu bezpečná pro lidský organismus.

Tabulka 4.1: *Zhodnocení dodržování limitů a velikost podílu kampusové 4G sítě na této hodnotě*

Pozice	W&G EMR-30	Spectran HF-60105	Dodržení hygienických limitů?	Podíl intenzity elektrického pole základnové stanice na celkové hodnotě [%]
	Intenzita elektrického pole [V/m]	Intenzita elektrického pole [V/m]		
1	0,43	0,03	ANO	6,98
2	0,62	0,01	ANO	1,61
3	0,42	0,01	ANO	2,38
4	0,7	0,01	ANO	1,43
5	1,27	0,01	ANO	0,79
6	1,56	0,01	ANO	0,64
7	0,72	0,02	ANO	2,78
8	0,61	0,01	ANO	1,64
9	0,36	0,01	ANO	2,78
10	0,31	0,01	ANO	3,23
11	0,58	0,01	ANO	1,72
12	0,62	0,01	ANO	1,61
13	0,7	0,01	ANO	1,43
14	0,42	0,01	ANO	2,38
15	0,38	0,01	ANO	2,63
16	0,26	0,01	ANO	3,85
17	1,02	0,03	ANO	2,94
18	0,36	0,02	ANO	5,56
19	0,45	0,01	ANO	2,22
20	0,61	0,01	ANO	1,64

## Závěr

Prvním z cílů této bakalářské práce bylo provést rešerši v oblasti základních hygienických limitů, které musí základnové stanice mobilních sítí splňovat. Podklady pro zpracování této rešerše mi poskytl zejména *Zákon č.258/2000 Sb.: o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů*, který udává provozovateli povinnost doložit výpočtem, či měřením dodržování nejvyšších přípustných hodnot neionizujícího záření. Tyto nejvyšší přípustné hodnoty se spolu s referenčními hodnotami nacházeli v *Nařízení vlády č.291/2015 Sb.: Nařízení vlády o ochraně zdraví před neionizujícím zářením*, kdy byly tyto hodnoty určeny, jak pro zaměstnance, tak pro fyzické osoby v komunálním prostředí. Vymezení a výpočet těchto prostor pro zaměstnance a fyzické osoby v komunálním prostředí, ve kterých může dojít k dočasnému překročení referenčních hodnot, je proveden v *Metodickém návodu ke sjednocení postupů orgánů ochrany veřejného zdraví*. Čj: MZDR 509/2017-19/OVZ, vydaném Ministerstvem zdravotnictví.

Druhým z cílů této bakalářské práce bylo provést naměření těchto hodnot v prostorách univerzitního kampusu v Porubě, porovnání těchto hodnot s limity a zhodnocení, zda nedošlo k překročení těchto limitů. V areálu jsem si vybral 20 stanovišť, na kterých jsem měření prováděl. Toto měření bylo prováděno dvěma přístroji pro měření elektrického pole. Prvním jsem měřil intenzitu elektrického pole v pásmu kmitočtů od 100 kHz do 3 GHz a druhým intenzitu elektrického pole se selektivní sondou pro kmitočet 2640 MHz až 2660 MHz. Také jsem měřil pro informaci hodnotu přijímací výkonové úrovně, pomocí mobilní aplikace TEMS Pocket. Při zhodnocení jsem zjistil, že nedošlo ani zdaleka k překročení limitů intenzity elektrického pole, které jsem popsal v první části. Taktéž jsem zjistil podíl intenzity elektrického pole kampusové 4G sítě na celkové hodnotě intenzity elektrického pole, kterou jsem zjistil širokopásmovým měřičem. Tento podíl byl naprosto minimální na většině měřících stanovišť. V žádném případě tedy nemá kampusová 4G síť nebezpečné účinky pro lidský organismus, jak by mohli někteří lidé tvrdit.

V třetím z cílů této bakalářské práce jsem pracoval se simulačním softwarem Wireless Insite. Zde jsem si nasimuloval hodnoty intenzity elektrického pole kampusové 4G sítě a porovnal tyto hodnoty se skutečnými naměřenými hodnotami z druhé části. Zjistil jsem, že v těchto nasimulovaných hodnotách a skutečných hodnotách byl minimální rozdíl. Většinou způsobený tím, že nebylo možné, dosáhnou přesných podmínek v simulačním nástroji, jako tomu bylo ve skutečnosti. Taktéž jsem provedl simulaci pokrytí kampusovou 4G sítí v prostředí Wireless Insite.

Osobně si myslím, že by na tuto bakalářskou práci bylo možné navázat v druhé části, kdy bychom mohli spektrálním analyzátozem měřit více užších pásem, k těmto jednotlivým pásmům poté dohledat zdroj tohoto záření a analyzovat tak, který zdroj má na celkové hodnotě intenzity elektrického pole největší podíl a naopak, který má ten nejmenší.



## Použitá literatura

- [1] Česká republika. Zákon č.258/2000 Sb.: o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů. In: Sbírka zákonů 2000. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-258>
- [2] Česká republika. Nařízení vlády č.291/2015 Sb.: Nařízení vlády o ochraně zdraví před neionizujícím zářením. In: Sbírka zákonů 2015. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2015-291>
- [3] Česká republika. METODICKÝ NÁVOD ke sjednocení postupů orgánů ochrany veřejného zdraví. In: Praha, 2017, Čj: MZDR 509/2017-19/OVZ. Dostupné také z: <https://www.mzcr.cz/wp-content/uploads/wepub/14041/36096/V%C4%9Bstn%C3%ADk%20MZ%20%C4%8CR%208-2017.pdf>
- [4] About Us. VIAVI [online]. 2021 [cit. 2021-04-05]. Dostupné z: <https://www.viavisolutions.com/en-us/corporate/about-us>
- [5] Wandel &Goltermann GmbH & Co. [online]. Radiation Meters EMR-20, EMR-30. [cit. 2021-04-05]. Dostupné také z: <https://www.gruppompb.com/public/upload/EMR-30.pdf>
- [6] Wandel &Goltermann GmbH & Co. [online]. EMR-20/-30 EMR-200/-300 Strahlungsmeßgeräte. 1998 [cit. 2021-04-05]. Dostupné také z: [https://www.darc.de/fileadmin/filemounts/distrikte/o/Referate/EMV/Bedienungsanleitung\\_EM\\_R300\\_02.pdf](https://www.darc.de/fileadmin/filemounts/distrikte/o/Referate/EMV/Bedienungsanleitung_EM_R300_02.pdf)
- [7] INFO ABOUT US. AARONIA AG [online]. Germany, 2021 [cit. 2021-04-05]. Dostupné z: <https://aaronia.com/about-us/>
- [8] AARONIA AG [online]. SPECTRAN V4 HANDHELD. 2020. [cit. 2021-04-05]. Dostupné také z: [https://downloads.aaronia.com/datasheets/analyzers/V4/Spectran\\_V4\\_Datasheet\\_2020-04-01\\_V5.pdf](https://downloads.aaronia.com/datasheets/analyzers/V4/Spectran_V4_Datasheet_2020-04-01_V5.pdf)
- [9] AARONIA AG [online]. Manual Spectran V4. 2013. [cit. 2021-04-05]. Dostupné také z: [https://www.aaronia.com/Datasheets/Documents/SPECTRAN-HF\\_V4\\_EN.pdf](https://www.aaronia.com/Datasheets/Documents/SPECTRAN-HF_V4_EN.pdf)
- [10] Wireless InSite 3D Wireless Prediction Software. Remcom [online]. [cit. 2021-02-13]. Dostupné z: <https://www.remcom.com/wireless-insite-em-propagation-software>
- [11] STRYJA, Lukáš. Práce se softvérovým nástrojem Wireless InSite Pro. Ostrava, 2017. Dostupné také z: [https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/118913/STR0358\\_FEI\\_B2647\\_2612R059\\_2017.pdf](https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/118913/STR0358_FEI_B2647_2612R059_2017.pdf). Bakalářská práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. Fakulta elektrotechniky a informatiky. Vedoucí práce Ing. Roman Šebesta, Ph.D.
- [12] STRYJA, Lukáš. Analýza vlivu detailu objektů v prostředí Remcom Wireless InSite. Ostrava, 2019. Dostupné také z: [https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/136152/STR0358\\_FEI\\_N2647\\_2601T013\\_2019.pdf](https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/136152/STR0358_FEI_N2647_2601T013_2019.pdf). Diplomová práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. Fakulta elektrotechniky a informatiky. Vedoucí práce Ing. Libor Michalek, Ph.D.
- [13] Huawei Technologies Co., Ltd. [online]. Basic Specification A264518R0v06. 2018. [cit. 2021-04-05]. Dostupné také z: <https://carrier.huawei.com/~media/CN BG/Downloads/Product/Wireless-Network/Antenna/Passive-Antenna/A264518R0v06/A264518R0v06.pdf>

- [14] Aaronia AG. [online]. LOGPER ANTENNAS HYPERLOG 60 SERIES. 2020. [cit. 2021-04-05].  
Dostupné také z:  
[https://downloads.aaronia.com/datasheets/antennas/HyperLOG/Aaronia\\_HyperLOG\\_60\\_Logper\\_Antennas.pdf](https://downloads.aaronia.com/datasheets/antennas/HyperLOG/Aaronia_HyperLOG_60_Logper_Antennas.pdf)

---

## Seznam příloh

Přílohy jsou uloženy v ZIP souboru, který byl odevzdán spolu s touto bakalářskou prací.

- Příloha A: Datasheet měřicího přístroje W&G EMR-30
- Příloha B: Manuál měřicího přístroje W&G EMR-30
- Příloha C: Datasheet měřicího přístroje Spectran HF-60105
- Příloha D: Manuál měřicího přístroje Spectran HF-60105
- Příloha E: Základní specifikace antény A264518R0v06 (BTS)
- Příloha F: Datasheet antény HyperLOG 60100
- Příloha G: Wireless Insite projekt s jednotlivými simulacemi

Adresářová struktura ZIP souboru přílohy:

```
2021_LAS0077_BP_příloha.zip:
|
+---Příloha A
|       Datasheet W&G EMR-30.pdf
|
+---Příloha B
|       Manuál W&G EMR-30.pdf
|
+---Příloha C
|       Datasheet Spectran HF-60105.pdf
|
+---Příloha D
|       Manuál Spectran HF-60105.pdf
|
+---Příloha E
|       A264518R0v06 (BTS).pdf
|
+---Příloha F
|       Aaronia HyperLOG 60 Antennas.pdf
|
+---Příloha G
|       Wireless Insite projekt.zip
```